



PCT/FR2004/001900

REC'D 29 OCT 2004
WIPO
PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 JUIL. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE'.

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA RÈGLE
17.1. a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

1er dépôt

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11354-02

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2

BR1

REMISE DES PIÈCES DATE 18 JUIL 2003		Réservé à l'INPI	
LIEU 35 INPI RENNES		N° D'ENREGISTREMENT 0308844	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 18 JUIL. 2003	
Vos références pour ce dossier (facultatif) R9103FR			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i>		N°	Date <input type="text"/>
<i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N°	Date <input type="text"/>
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/>	Date <input type="text"/>
		N°	Date <input type="text"/>
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
Procédé et dispositif d'estimation d'un canal de propagation d'un signal multiporteuse.			
4 DECLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		<input type="checkbox"/> Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale	<input type="checkbox"/> Personne physique
Nom ou dénomination sociale		TELEDIFFUSION DE FRANCE	
Prénoms			
Forme Juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		3 4 2 4 0 4 3 9 9	
Code APE-NAF		<input type="text"/>	
Domicile ou siège	Rue	10, rue d'Oradour sur Glane	
	Code postal et ville	7 5 7 3 2 PARIS CEDEX	
	Pays	FRANCE	
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2^{me} page

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ**
**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2**
BR2

REMISE DES PIÈCES	
DATE 18 JUIL 2003	
LIEU 35 INPI RENNES	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	0308844

DB 540 © W / 010801

Réervé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>	
R9103FR	
6 MANDATAIRE (<i>s'il y a lieu</i>)	
Nom VIDON	
Prénom Patrice	
Cabinet ou Société Cabinet Patrice VIDON	
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	
Adresse	Rue 16B, rue Jouanet - BP 90333
	Technopôle Atalante
	Code postal et ville 35103 RENNES CEDEX 7
Pays FRANCE	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i> 02 99 38 23 00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i> 02 99 36 02 00	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i> vidon@vidon.com	
7 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
8 RAPPORT DE RECHERCHE Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i> Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (<i>joindre un avis de non-imposition</i>) <input type="checkbox"/> Obtenu antérieurement à ce dépôt pour cette invention (<i>joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence</i>) : AG <input type="checkbox"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (<i>Nom et qualité du signataire</i>)	
P. VIDON mandataire (CPI 92-1250)	
VISA DE LA PRÉFECTURE CHAMPS DE L'INPI NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE RENNES	

Procédé et dispositif d'estimation d'un canal de propagation d'un signal multiporteuse.

1. Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui des communications numériques appliquées, des systèmes de diffusion numérique hertzienne, du type appartenant au groupe comprenant DAB, DVB-T, DRM, mais également des télécommunications (ADSL, Hyperlan2, etc.).

Plus précisément, l'invention concerne les récepteurs du type DAB, DVB-T, DRM qui utilisent la démodulation OFDM (« Orthogonal Frequency Division Multiplex » en anglais, pour « Multiplexage par division orthogonal de fréquence »), laquelle est de plus en plus utilisée dans les domaines précités.

3. L'art antérieur

3.1. Rappel sur le principe de la modulation OFDM

La modulation OFDM consiste à répartir dans l'espace temps/fréquence des données de durée T_u (dit temps-symbole utile) sur une pluralité de fréquences porteuses modulées indépendamment, par exemple en QPSK ou QAM. L'OFDM découpe ainsi le canal en cellules selon les axes du temps 11 et des fréquences 12, comme illustré sur la figure 1. Chacune des porteuses est orthogonale à la précédente.

Le canal de longueur préterminée 13 est alors constitué d'une suite de sous-bandes de fréquence 14 et d'une suite de segments temporels 15.

A chaque cellule fréquence/temps est attribuée une porteuse dédiée. On va donc répartir l'information à transporter sur l'ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par exemple, par une modulation du type QPSK ou QAM. Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations portées par l'ensemble des porteuses à un instant t .

Cette technique de modulation est notamment efficace dans les situations où l'on rencontre des multitrajets. Comme illustré sur la figure 2 qui présente un ensemble de symboles OFDM 21, une même suite de symboles arrivant à un récepteur par deux chemins différents se présente comme la même information

arrivant à deux instants différents et qui s'additionnent. Ces échos provoquent deux types de défauts :

- l'interférence intra symbole : addition d'un symbole avec lui-même légèrement déphasé ;
- l'interférence inter symbole : addition d'un symbole avec le suivant plus le précédent légèrement déphasé.

Entre chaque symbole transmis, on insère une zone « morte » appelée 5 intervalle de garde 22, dont la durée 23 est choisie suffisamment grande par rapport à l'étalement des échos. Ces précautions vont limiter l'interférence inter 10 symbole (celle ci étant absorbée par l'intervalle de garde).

A la réception, les porteuses ont subi en outre soit une atténuation (échos destructifs), soit une amplification (échos constructifs) et/ou une rotation de phase.

Pour calculer la fonction transfert du canal et ainsi effectuer une égalisation du signal avant démodulation, on insère des porteuses pilotes de synchronisation 15 (d'amplitude souvent supérieure aux porteuses de données utiles). La valeur et l'emplacement de ces pilotes dans l'espace temps/fréquence sont prédéfinis et connus des récepteurs.

Après une interpolation en temps et en fréquences, on obtient une estimation 20 de la réponse du canal plus ou moins pertinente en fonction du nombre de pilotes de référence et de leur répartition dans le domaine temps/fréquence.

3.2. Application dans les bandes AM (DRM)

La modulation OFDM est de plus en plus utilisée dans la diffusion numérique car elle très bien adaptée aux variations du canal radio : les échos, le doppler. Les ingénieurs, pour choisir la structure OFDM la mieux adaptée, 25 étudient d'abord les caractéristiques du canal radio qui varient en fonction de la fréquence d'émission, de la bande passante du signal mais aussi, pour la radio numérique dans les bandes AM (DRM), des conditions de propagations entre le jour et la nuit et des cycles solaires.

Les récepteurs utilisés pour la démodulation OFDM exploitent 30 essentiellement la réponse du canal calculée à partir des pilotes de référence. La

justesse de cette estimation dépend donc de la proportion de pilotes de référence insérés dans les symboles OFDM.

3.3. Inconvénients des techniques de l'art antérieur

Un algorithme de correction de l'erreur de phase commune est connu, mais 5 l'erreur traitée correspond à l'erreur relative entre deux symboles OFDM successifs, l'objectif étant alors de corriger les erreurs de phase dues aux défauts des oscillateurs utilisés dans les récepteurs.

Toutefois, notamment pour le DRM, on constate des variations rapides de canal, notamment lorsqu'on se déplace en automobile, qui peuvent conduire à des 10 pertes de services momentanées (partielles ou totales).

En particulier, pour corriger les variations de phase entre deux symboles OFDM successifs, les techniques connues s'appuient sur le calcul de l'erreur de phase commune par différentiation entre deux symboles successifs. Cette correction est donc effectuée avant l'estimation de canal. C'est par exemple le cas 15 de la solution proposée par France Télécom et Télédiffusion de France (TDF) dans leur brevet français n° FR 2,768,278. Cependant, cela peut s'avérer insuffisant, notamment dans le cas du DRM.

4. Objectifs de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients 20 principaux de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir un procédé et un dispositif permettant d'optimiser l'estimation d'un canal de propagation, notamment d'un canal OFDM, par exemple pour des applications du type DRM.

Notamment, un objectif supplémentaire de l'invention est de lutter contre les 25 évanouissements forts que l'on peut rencontrer, par exemple dans le cas du DRM.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un procédé et un dispositif permettant de corriger les pilotes de référence en fonction d'un canal de propagation correspondant.

Un objectif supplémentaire de l'invention est de fournir un procédé et un 30 dispositif d'estimation permettant d'affiner la synchronisation des récepteurs.

Encore un objectif de l'invention est de fournir un procédé et un dispositif qui soient faciles à mettre en œuvre, tout en restant de coût raisonnable.

Un dernier objectif de l'invention est de fournir un procédé et un dispositif qui corrige également le problème de l'erreur de phase commune sur un signal OFDM en réception, induit par exemple par les bruits de phases des oscillateurs, en complément de l'erreur commune aux symboles OFDM sur l'amplitude.

5. Caractéristiques principales de l'invention

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite sont atteints à l'aide d'un procédé d'estimation d'un canal de propagation formé de symboles successifs d'un signal multiporteuse comprenant chacun au moins un pilote de référence, et une pluralité de fréquences portant des données.

Un tel procédé comprend avantageusement au moins une étape de correction du ou des pilotes de référence, en fonction d'une première estimation d'un canal de propagation, de façon à délivrer une seconde estimation du canal, plus précise.

Cette approche repose notamment sur l'observation, faite par les inventeurs, que les algorithmes actuellement connus parmi les solutions de l'art antérieur n'utilisent pas toutes les informations qu'il est possible d'extraire des pilotes de référence.

L'article intitulé « The effect of phase noise in COFDM » ou « l'effet du bruit de phase en COFDM » publié en 1998 dans la revue « EBU Technical Review » par J. Scott identifie le problème de l'erreur de phase commune sur un signal OFDM en réception, induit par exemple par les bruits de phases des oscillateurs. Cet article de l'art antérieur ne propose cependant aucune correction à ce problème.

Avantageusement, cette première étape d'estimation d'un canal de propagation tient compte des pilotes reçus avant qu'ils ne soient corrigés.

De façon préférentielle, l'étape de correction comprend une étape de calcul d'un vecteur d'erreur d'amplitude et/ou de phase, pour chacun des pilotes de référence.

Préférentiellement, l'étape de calcul d'un vecteur d'erreur met en œuvre un moyennage d'un ensemble de vecteurs d'erreurs obtenus sur au moins un

symbol. Ce moyennage peut correspondre par exemple à une intégration sur les vecteurs d'erreurs obtenus pour chacun des symboles, de façon à éliminer tout risque d'introduction de bruit que pourrait engendrer une prise en compte de pilotes atypiques.

5 De façon avantageuse, le moyennage est calculé sur chaque symbole.

Avantageusement, l'ensemble de vecteurs d'erreur ne comprend que les vecteurs d'erreur répondant à au moins un critère prédéterminé de qualité.

De façon préférentielle, l'étape de calcul d'un vecteur d'erreur d'amplitude et/ou de phase comprend une étape préliminaire de rejet, pour ce calcul, des 10 pilotes dont l'amplitude est inférieure à un premier seuil moyen minimum prédéterminé et/ou supérieure à un deuxième seuil moyen maximum prédéterminé, de façon à éviter tout risque d'introduction de biais dans le calcul du vecteur d'erreur d'amplitude et/ou de phase.

En effet, à titre de simple exemple illustratif, il est fréquent lors de l'estimation 15 classique d'un canal d'obtenir une erreur en amplitude et une erreur en phase qui soient suffisamment importantes en pourcentage pour rendre ainsi ce dernier inexploitable.

Au contraire, le procédé selon l'invention permet de démoduler tous les pilotes pour en extraire une estimation commune applicable au canal, en appliquant 20 l'estimation du canal sur les données elles-mêmes.

Ainsi, plus le nombre de ces pilotes est important pour un même symbole et meilleur sera l'estimation des erreurs et le bruit blanc additif gaussien sera minimal. Les pilotes dont l'amplitude est très faible par rapport à la moyenne sur un symbole ou trop importante (pouvant être considérée comme un parasite) ne 25 sont pas pris en compte dans l'opération.

Avantageusement, la seconde estimation comprend une étape d'égalisation, en fonction de la première estimation du canal.

De façon avantageuse, l'étape d'égalisation est effectuée sur l'ensemble des fréquences porteuses de chacun des symboles.

30 Da façon également avantageuse, l'étape d'égalisation est suivie d'une étape de calcul d'une réponse impulsionnelle d'un canal de propagation, en fonction des

pilotes de référence égalisés pour l'affinage d'une synchronisation temporelle des récepteurs.

Préférentiellement, l'étape de correction des pilotes de référence comprend une division de ces pilotes par la première estimation du canal de propagation.

5 De façon préférentielle, l'étape de correction des pilotes de référence comprend en outre une dernière étape de correction de toutes les porteuses utiles égalisées tenant compte de la valeur moyenne obtenue en résultat du moyennage.

10 Le procédé selon l'invention est utilisé de façon avantageuse pour la correction d'au moins une erreur de phase et/ou d'amplitude commune à deux cellules d'un même symbole du type OFDM («Orthogonal Frequency Division Multiplex» en anglais, pour « Multiplexage par division orthogonal de fréquence»).

15 L'invention concerne également un dispositif d'estimation d'un canal de propagation formé de symboles successifs d'un signal multiporteuses comprenant chacun au moins au moins un pilote de référence, et une pluralité de fréquences portant des données.

20 Un tel dispositif comprend ainsi, de façon préférentielle, des moyens de correction du ou des pilotes de référence, en fonction d'une première estimation d'un canal de propagation, de façon à délivrer une seconde estimation du canal, plus précise.

6. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 précédemment décrite en préambule, est une représentation temps/fréquence d'un canal OFDM découpé en cellules, le canal étant alors constitué d'une suite de sous-bandes de fréquence et d'une suite de segments temporels ;
- 30 - la figure 2, également décrite ci-avant, présente un ensemble de symboles OFDM.

- la figure 3 illustre un exemple de structure OFDM en mode A d'un ensemble de symboles DRM ;
- la figure 4 illustre un deuxième exemple de structure OFDM, mais pour un ensemble de symboles DVB-T ;
- 5 - la figure 5 est une description schématisée de l'algorithme fonctionnel du procédé selon l'invention. Elle est détaillée ci-après.
- la figure 6 donne un exemple de la détermination d'un vecteur d'erreur global à partir de sept vecteurs d'erreur respectivement obtenus pour N= 7 pilotes. Elle est détaillée ci-après.
- 10 - la figure 7 donne un exemple de résultats obtenus sans application et avec application de l'algorithme selon l'invention, sur une diffusion expérimentale d'un signal DRM depuis une tour à la fréquence de 26 MHz avec le mode A. Elle met en évidence l'erreur résiduelle de l'estimation de canal avant et après application des corrections d'erreur commune. Elle est détaillée au paragraphe 7.2 de description d'un mode de réalisation préférentielle de l'invention.
- 15

7. Rappel du principe général de l'invention

L'invention vise donc à permettre la correction d'une ou plusieurs erreurs de phase et/ou d'amplitude commune aux cellules comprises dans un même symbole 20 OFDM, de façon à optimiser l'estimation d'un canal OFDM.

De façon plus détaillée, dans le signal OFDM, des pilotes dits de référence sont en effet intégrés pour estimer le canal de propagation. Cette estimation permet d'une part de corriger les pilotes dits de données vis-à-vis du canal de propagation, et d'autre part d'obtenir la réponse impulsionnelle du canal, cette dernière étant alors utilisée pour affiner la synchronisation temporelle des récepteurs.

A titre informatif, l'utilisation des pilotes de références dans les systèmes de radiodiffusion sonore numérique, notamment du type COFDM (« Coding Orthogonal Frequency Division Multiplex » en anglais, pour « Multiplexage de Fréquences Orthogonales Codées » en français) est décrite dans le brevet français 30 n° FR 2,658,016 du 6 février 1990 concernant un « procédé de diffusion de

données numériques, notamment pour la radiodiffusion à haut débit vers des mobiles, à entrelacement temps-fréquence et démodulation cohérente, et récepteur correspondant. Un tel procédé permet notamment de déterminer, par interpolation, une référence de phase et d'amplitude pour chacun des éléments numériques, et
5 ainsi de réaliser une démodulation cohérente.

8. Description d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention

Il est donc possible avec le procédé selon l'invention de déterminer la rotation de phase d'un symbole OFDM après correction de canal. Une telle technique permet de compenser les variations de phases issues des oscillateurs des
10 récepteurs, mais il est également possible de déterminer les variations d'amplitude commune à un symbole. Ces deux informations permettent de suivre les variations du canal au rythme des symboles dans le domaine temporel.

Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, il s'agit de corriger une erreur de phase et d'amplitude commune aux cellules comprises dans un
15 même symbole OFDM. Cette technique permet de suivre des variations de canal au rythme des symboles OFDM, ce qui est supérieur à ce que permet l'estimation de canal classique du fait de la répartition en temps et en fréquence des pilotes de référence qui sont souvent en nombre limité pour ne pas trop diminuer le débit utile.

20 Une fois les synchronisations temporelle et fréquentielle « grossières » établies, par corrélation des intervalles de garde, par exemple, il est possible d'obtenir la réponse du canal par interpolation sur les pilotes de références. Une fois cette estimation obtenue, une égalisation est appliquée à tous les pilotes de référence ou de données des symboles OFDM. Au niveau des pilotes de
25 références, après égalisation, il devient alors possible de déterminer une erreur résiduelle, entre les pilotes émis et les pilotes reçus ? Celle-ci provient en général d'un bruit blanc additif gaussien ou encore, d'une erreur liée aux limites de l'interpolation temporelle et fréquentielle, c'est-à-dire, de l'estimation de canal.

En intégrant l'ensemble des vecteurs sur un symbole, ce qui revient à les
30 moyenner, on obtient un vecteur d'erreur globale. Une confiance des vecteurs

élémentaires est obtenue à partir de l'estimation de canal, cette opération permettant le rejet des faibles signaux (noyés dans le bruit) ou des pics parasites.

La phase de ce vecteur correspond à l'erreur commune de phase « ECP » et l'amplitude de ce vecteur à l'erreur commune d'amplitude « ECA », toutes deux exprimées au moyen des formules mathématiques suivantes et illustrées sur la figure 6. Cette figure 6 donne un exemple illustratif de la détermination d'un vecteur d'erreur global 61, à partir de sept vecteurs d'erreur (62, 63, 64, 65, 66, 67, 68) respectivement obtenus pour N= 7 pilotes.

L'erreur commune de phase « ECP » 69 s'exprime :

$$10 \quad ECP = \text{angle} \left(\sum_{i=0}^{N-1} P_{\text{réf},i} \right)$$

et l'erreur commune d'amplitude « ECA » 61 :

$$ECA = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=0}^{N-1} P_{\text{réf},i} \right)^2}{N}}$$

où :

- $P_{\text{réf},i}$: est l'erreur résiduelle complexe sur les pilotes de référence i, où i est l'indice (de 0 à N-1) des N pilotes de références pris en compte ;
- N : est la variable définissant le nombre de pilotes dans le calcul.

De façon complémentaire, si H_1 est la première estimation de la réponse du canal avant correction, la pondération de cette première estimation de canal avec le vecteur d'erreur global permet d'obtenir une nouvelle estimation plus précise de canal notée H_2 qui tient compte des erreurs de phase des oscillateurs des récepteurs. Cette deuxième estimation plus précise tient compte également des variations de canal qui ne pouvaient habituellement pas être mesurées avec les techniques de l'art antérieur et qui sont en partie à l'origine de l'amélioration de l'estimation de canal appliquée à la démodulation OFDM.

Cette deuxième estimation de canal plus précise s'exprime au moyen de la formule mathématique suivante :

$$h_2(n) = \frac{h_1(n) \cdot e(-j \cdot ECP)}{ECA}$$

où $h_1(n)$: est la réponse du canal avant correction.

Il devient alors possible d'évaluer la valeur d'estimation affinée attribuée à l'ensemble des cellules égalisées par l'estimation par la formule mathématique suivante :

$$y(n) = h_2^{-1}(n) * x(n)$$

où :

- o $y(n)$: est l'ensemble des cellules égalisées par l'estimation ;
- o $h_2(n)$: est la réponse du canal après correction par l'ECP et l'ECA ;
- o $x(n)$: est l'ensemble des cellules associées à un symbole OFDM.

10

La figure 5 est une description schématisée de l'algorithme fonctionnel décrit ci-dessus et pour lequel nous rappelons les étapes principales :

15

- étape 1 : une transformée de Fourier Rapide (« Fast Fourier Transformation » en anglais) 510 est appliquée sur le signal reçu ramené en bande de base pour identifier l'ensemble $x(n)$ 511 des cellules associées à chacun des symboles OFDM ;
- étape 2 : un démultiplexage 512 des cellules 511 permet ensuite de dissocier d'une part les pilotes de référence 513, et d'autre part les porteuses de données 514 ;
- étape 3 : un interpolation temps/fréquence 515 est effectuée sur l'ensemble des pilotes de références 513, de façon à obtenir une première estimation $h_1(n)$ de la réponse du canal 516 avant correction ;
- étape 4 : les calculs 517 des erreurs communes de phase (ECP) et d'erreurs communes d'amplitude (ECA) sont ensuite réalisés à partir des pilotes de référence 513, et de la première estimation $h_1(n)$ de la réponse du canal 516 avant correction ;
- étape 5 : calcul d'une deuxième estimation plus précise $h_2(n)$ de la réponse du canal 518 après correction ;
- étape 6 : égalisation 519 l'ensemble des cellules 512 à partir de l'ensemble des porteuses de données 514 et du résultat de la deuxième estimation 518,

25

30

de façon à définir l'ensemble 520 des cellules égalisées $y(n)$ par l'estimation ;

- étape 7 : application du traitement des données 521 et calcul 522 de l'erreur résiduelle complexe sur les pilotes de référence i corrigés, de façon à effectuer un dernier réglage temporel 523 sur les pilotes corrigés.

5 La figure 7 illustre un exemple de résultats obtenus sans application et avec application de l'algorithme selon l'invention, sur une diffusion expérimentale d'un signal DRM depuis une tour à la fréquence de 26 MHz avec le mode A (qui possède un pilote de référence toutes les vingt cellules en fréquence et toutes les cinq cellules en temps). Lorsque l'on se déplace à proximité de la tour à 50km/h le service audio 71 est très perturbé : le canal non corrigé 72 comporte des ventres et des nœuds 73 dont la récurrence est supérieure à ce que permet le mode OFDM retenu. Grâce à la technique selon l'invention, après correction, le service audio 71 fonctionne parfaitement, comme illustré par la référence 74.

10 15 La figure 7 illustre également les signaux obtenus pour :

- un module non corrigé 75 ;
- un module corrigé 76 ;
- une phase non corrigée 77 ;
- une phase corrigée 78.

20 9. Avantages de la solution selon l'invention

Les procédé et dispositif d'estimation d'un canal de propagation formé de symboles successifs d'un signal multiporteur comprenant chacun au moins au moins un pilote de référence, et une pluralité de fréquences portant des données, tels que proposés par l'invention présentent un certain nombre d'avantages, dont 25 une liste non exhaustive est donnée ci-dessous :

- optimisation de l'estimation de canal en OFDM ;
- correction des pilotes de données vis-à-vis du canal de propagation ;
- possibilité d'obtenir la réponse impulsionnelle du canal, cette dernière pouvant être utilisée pour affiner la synchronisation temporelle des 30 récepteurs

- application à la réception OFDM en mobilité du type comprenant : DRM, DVB-T, etc.;
- simplicité de mise en œuvre ;
- qualité et pertinence des résultats obtenus en termes de correction ;
- 5 - rapidité de la solution et de l'algorithme.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'estimation d'un canal de propagation formé de symboles successifs d'un signal multiporteuse comprenant chacun au moins un pilote de référence, et une pluralité de fréquences portant des données,
5 caractérisé en ce qu'il comprend au moins une étape de correction du ou desdits pilotes de référence, en fonction d'une première estimation d'un canal de propagation, de façon à délivrer une seconde estimation dudit canal, plus précise.
2. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite première étape d'estimation d'un canal de propagation tient compte des pilotes reçus avant qu'ils ne soient corrigés.
10
3. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ladite étape de correction comprend une étape de calcul d'un vecteur d'erreur d'amplitude et/ou de phase, pour chacun desdits pilotes de référence.
- 15 4. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite étape de calcul d'un vecteur d'erreur met en œuvre un moyennage d'un ensemble de vecteurs d'erreurs obtenus sur au moins un symbole.
5. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon la revendication 4,
20 caractérisé en ce que ledit moyennage est calculé sur chaque symbole.
6. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que ledit ensemble de vecteurs d'erreur ne comprend que les vecteurs d'erreur répondant à au moins un critère prédéterminé de qualité.
- 25 7. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que ladite étape de calcul d'un vecteur d'erreur d'amplitude et/ou de phase comprend une étape préliminaire de rejet, pour ce dit calcul, desdits pilotes dont l'amplitude est inférieure à un premier seuil moyen minimum prédéterminé et/ou supérieure à un deuxième seuil moyen maximum prédéterminé, de façon à éviter tout risque d'introduction de biais dans le calcul dudit vecteur d'erreur d'amplitude et/ou de phase.
30

8. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite seconde estimation comprend une étape d'égalisation, en fonction de ladite première estimation du canal.
9. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon la revendication 8,
5 caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation est effectuée sur l'ensemble des fréquences porteuses de chacun desdits symboles.
10. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 3 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend, après ladite étape d'égalisation, une étape de calcul d'une réponse impulsionale d'un canal de propagation, en fonction des pilotes de référence égalisés pour l'affinage d'une synchronisation temporelle des récepteurs.
11. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ladite étape de correction des pilotes de référence comprend une division de ces pilotes par la première estimation du canal de propagation.
12. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite étape de correction des pilotes de référence comprend en outre une dernière étape de correction de toutes les porteuses utiles égalisées tenant compte de la valeur moyenne obtenue en
20 résultat dudit moyennage.
13. Procédé d'estimation d'un canal de propagation selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il est utilisé pour la correction d'au moins une erreur de phase et/ou d'amplitude commune à deux cellules d'un même symbole du type OFDM (« Orthogonal Frequency Division Multiplex » en
25 anglais, pour « Multiplexage par division orthogonal de fréquence »).
14. Dispositif d'estimation d'un canal de propagation formé de symboles successifs d'un signal multiporteuses comprenant chacun au moins au moins un pilote de référence, et une pluralité de fréquences portant des données,
caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de correction du ou desdits pilotes
30 de référence, en fonction d'une première estimation d'un canal de propagation, de façon à délivrer une seconde estimation judic canal, plus précise.

no R9103FR
once Telecom - TDF
min provisions

116

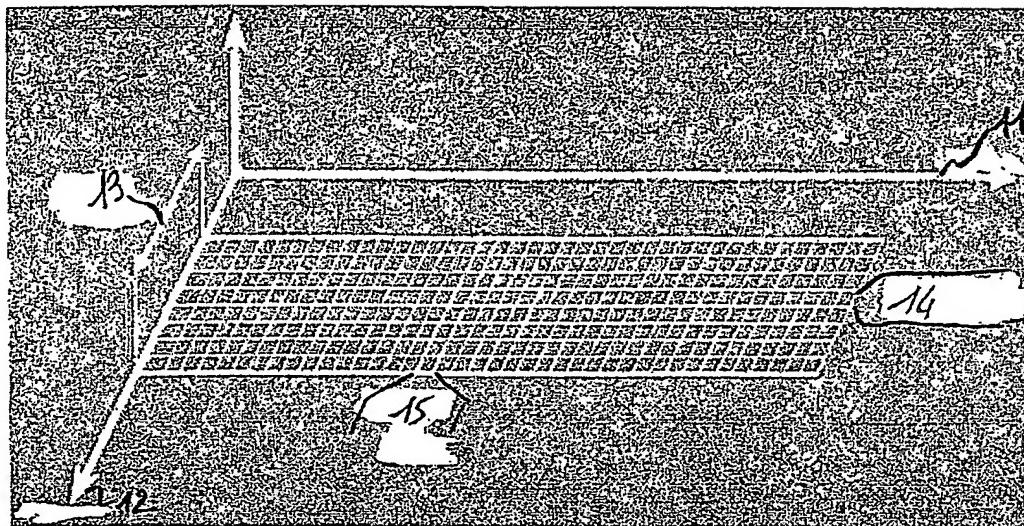


Fig. 1.

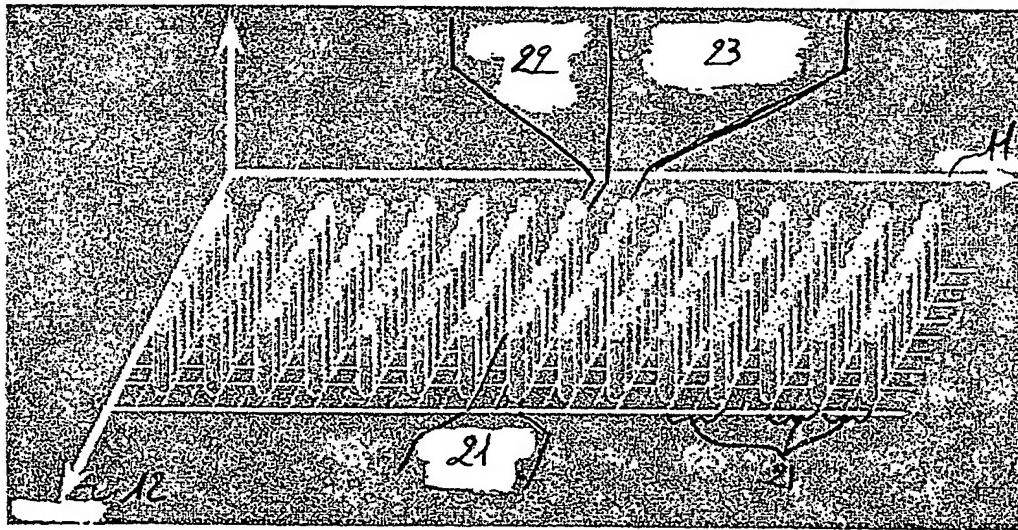


Fig. 2.

1/4

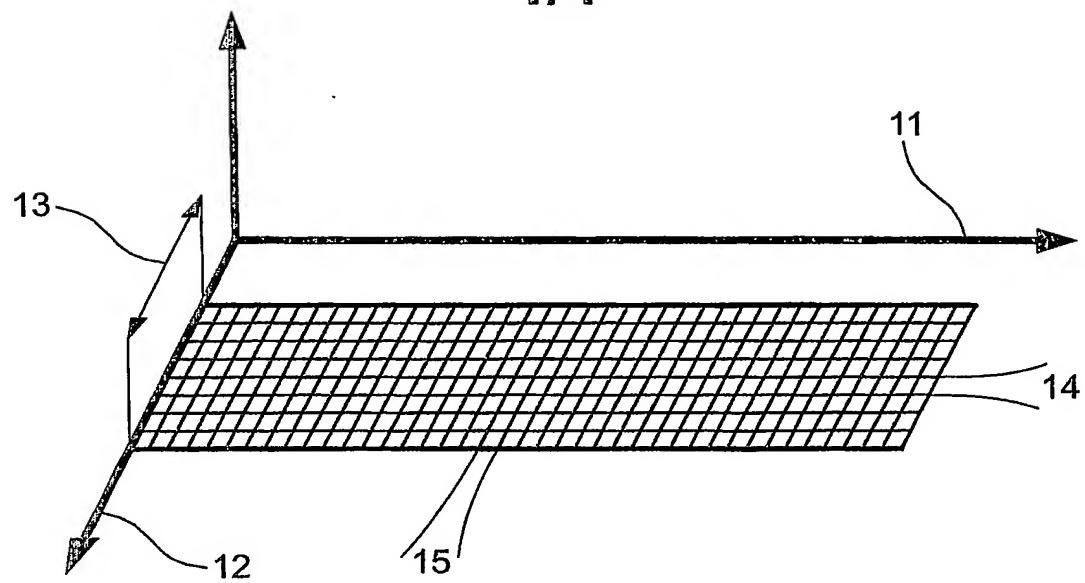


Fig. 1

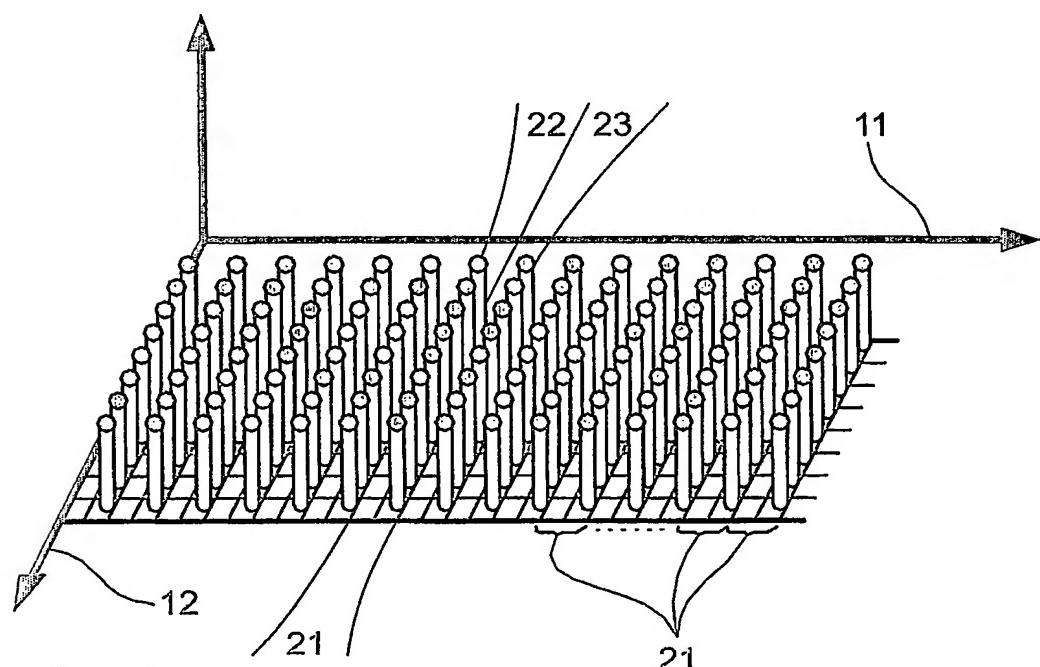


Fig. 2

en u° R3103FR
rance Telecom - TDF
essus produites

74

+--> porteuses (k)

|

v

symboles (s)

fréquences négatives

DC

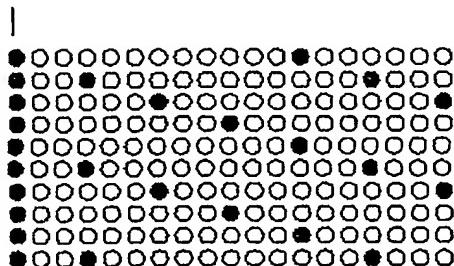
fréquences positives

1..1	:	1..1
1..0..33333333322222222211111111000000000:0000000001111111112222222233333333..0..1	:	
4..2..8765432109876543210987654321:12345678901234567890123456789012345678..2..4	:	
0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
1 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
2 .. . 0.....	0.....	0 .. .
3 .. . 0.....	0.....	0 .. .
4 .. 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
5 .. 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
6 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
7 .. . 0.....	0.....	0 .. .
8 .. . 0.....	0.....	0 .. .
9 .. 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
10 .. 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
11 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .
12 .. . 0.....	0.....	0 .. .
13 .. . 0.....	0.....	0 .. .
14 .. 0 .. . 0.....	0.....	0 .. .

31

Fig. 3

$K_{max} = 0$



$K_{max} = 1704 \text{ if } 2K$
 $K_{max} = 6816 \text{ if } 8K$

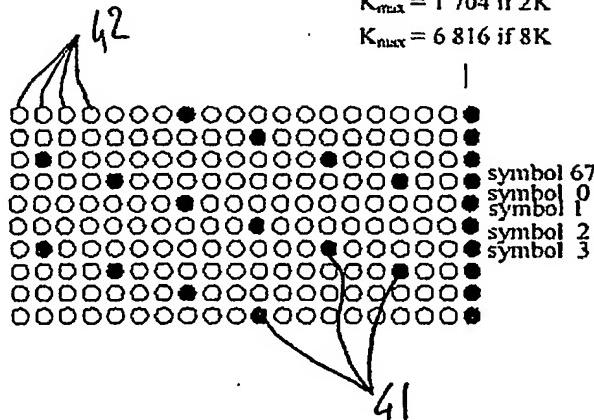


Fig. 4.

2/4

+> porteuses (k)

I

V

symboles (s)

DC

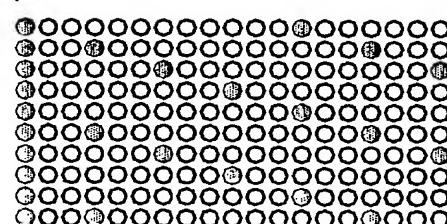
fréquences négatives

fréquences positives

1..1	:	1..1
1..0..	333333333322222222221111111100000000:0000000001111111122222222233333333	..0..1
4..2..	87654321098765432109876543210987654321:12345678901234567890123456789012345678	..2..4
	:	
0	.	0
1	O	.
2	.	O
3	.	O
4	O	.
5	.	O
6	O	.
7	.	O
8	.	O
9	O	.
10	.	O
11	O	.
12	.	O
13	.	O
14	O	.

Fig. 3

$K_{\min} = 0$



42

$K_{\max} = 1704 \text{ if } 2K$

$K_{\max} = 6816 \text{ if } 8K$

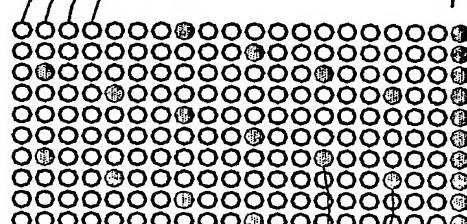


Fig. 4

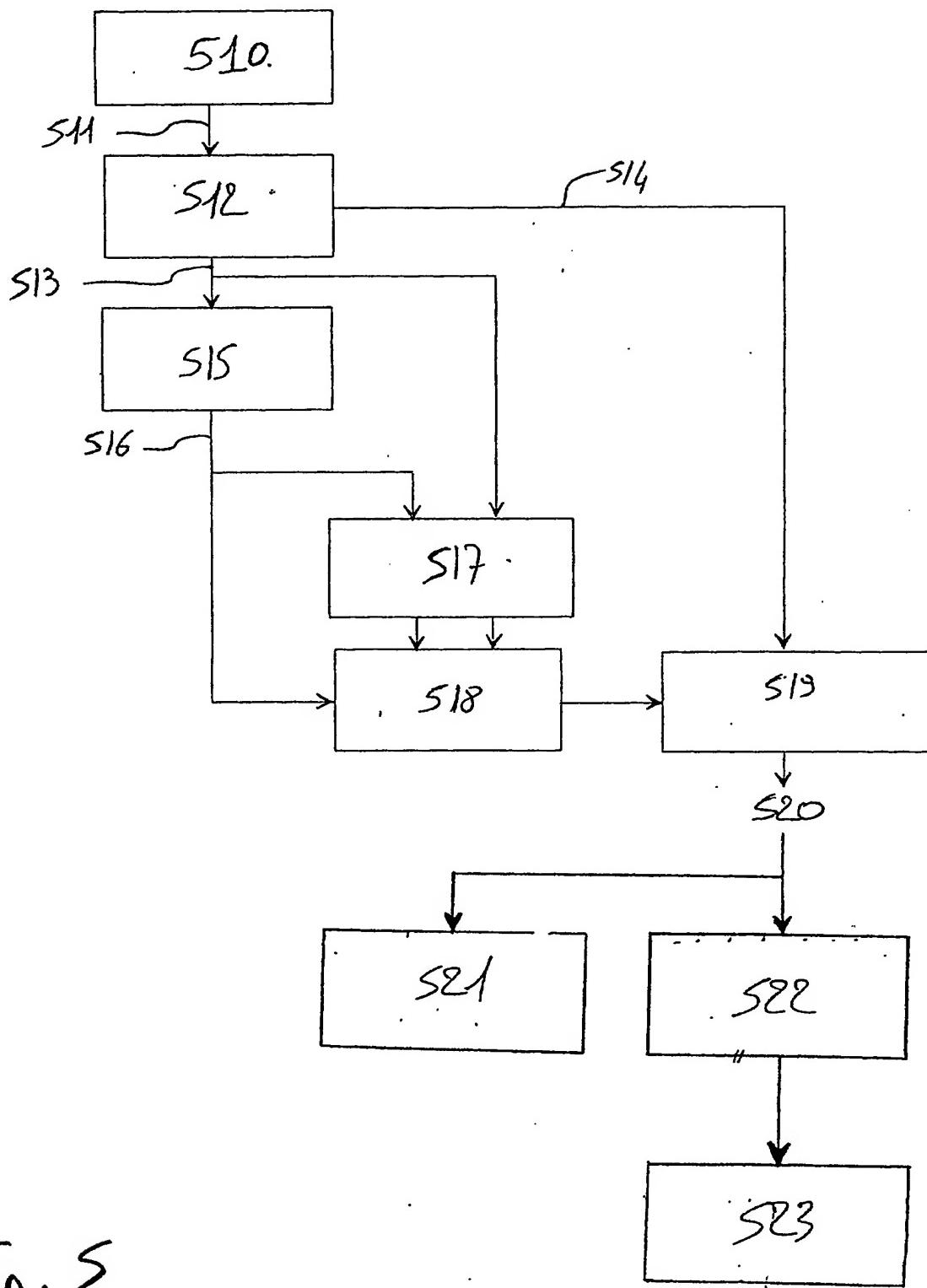


Fig. 5

3/4

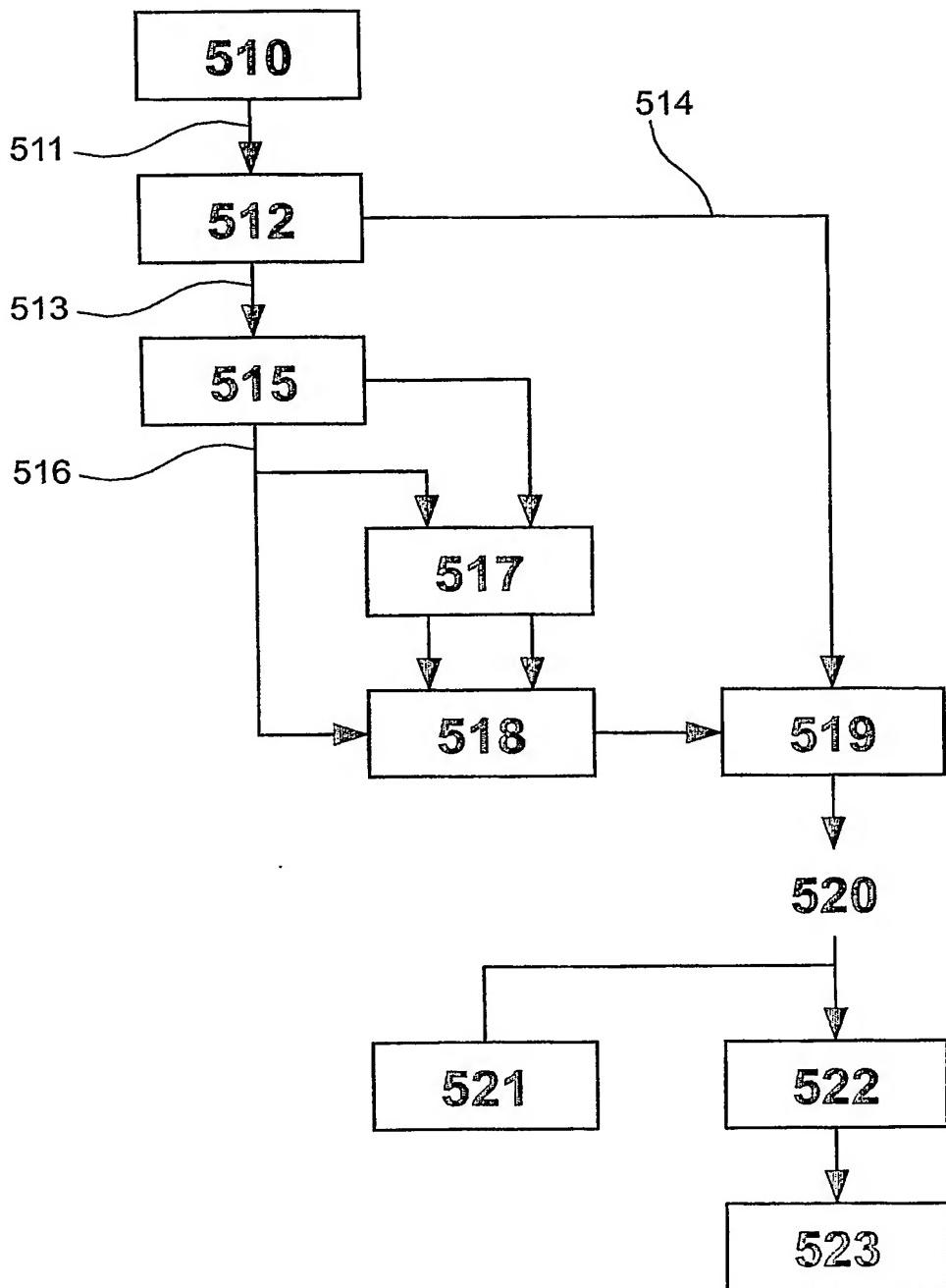


Fig. 5

série n° R8103FR
encl retrans-TDF
sans prévisions

4/6

Fig. 6

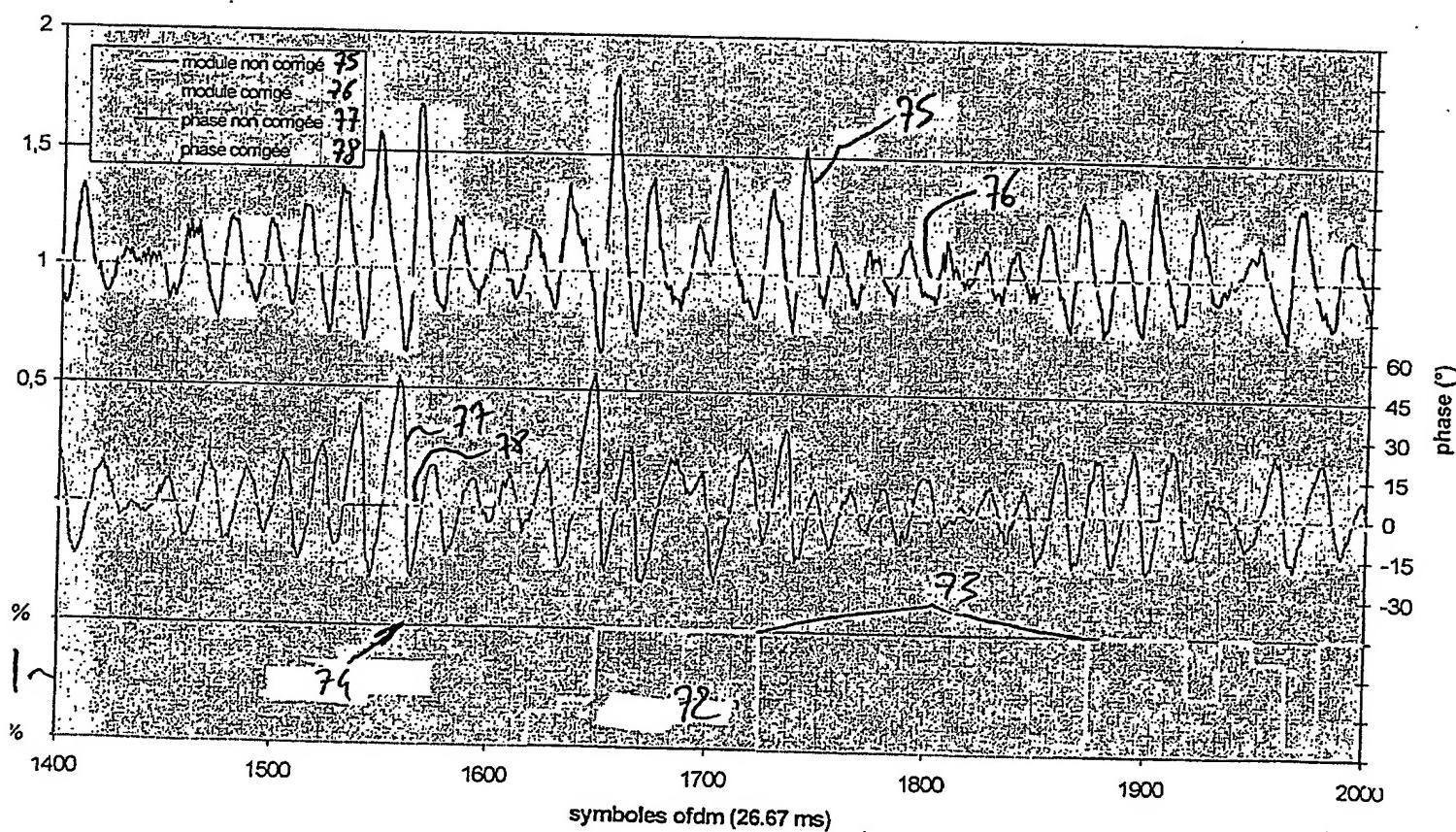
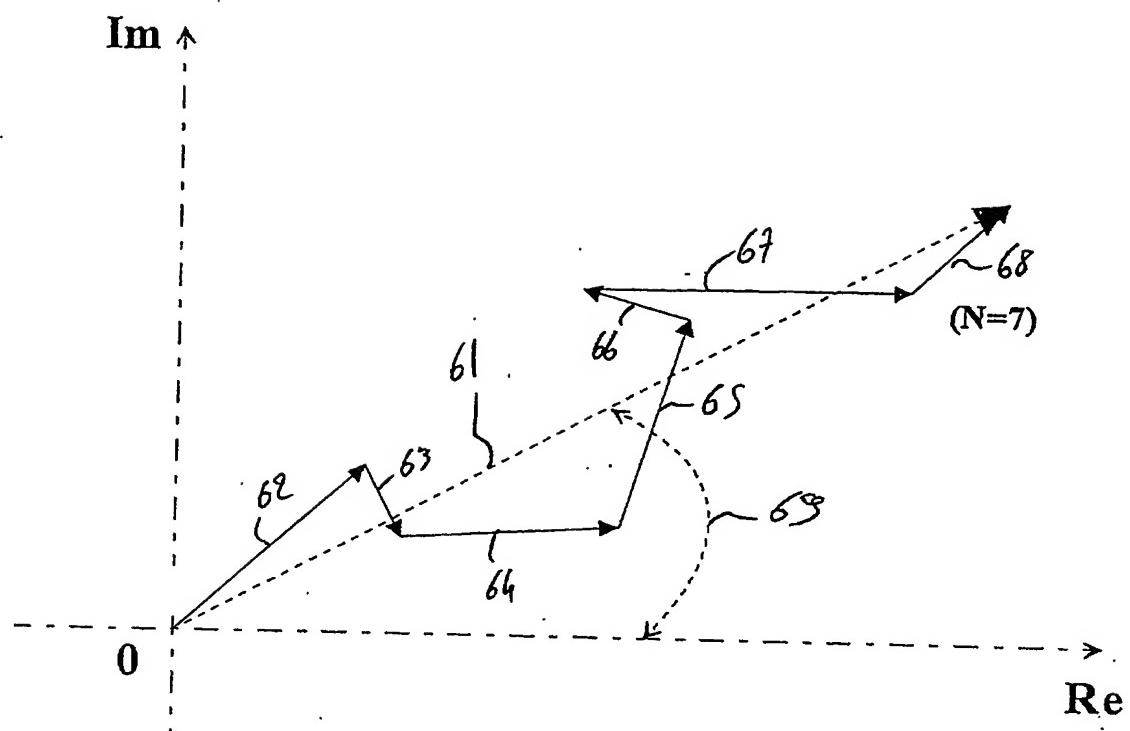


Fig. 7

4/4

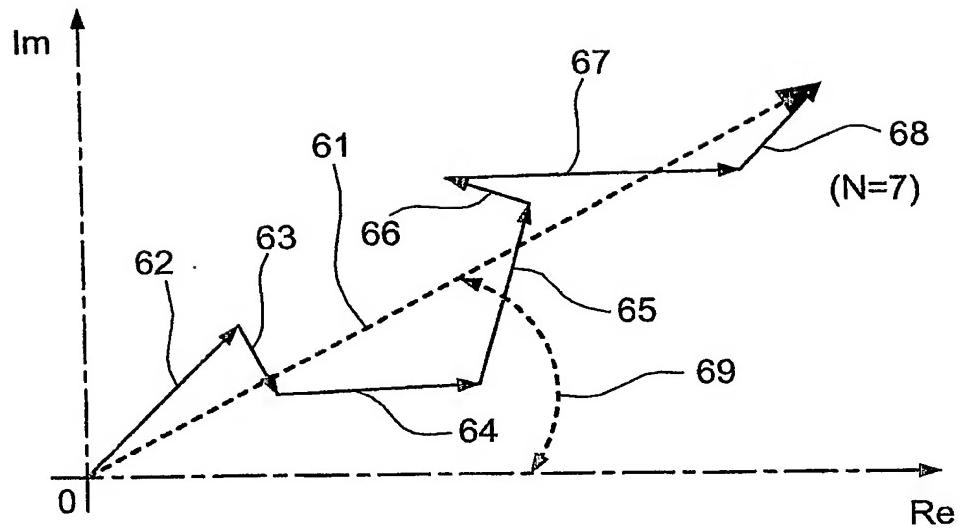


Fig. 6

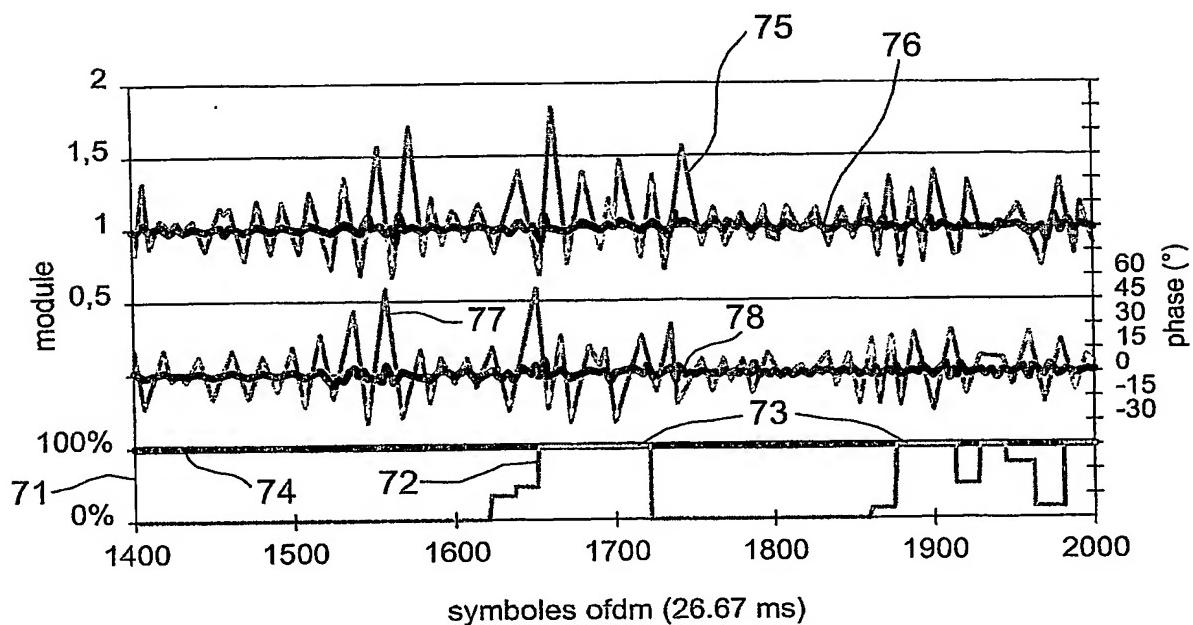


Fig. 7

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

INV

(À fournir dans le cas où les demandeurs et
les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 @ W / 270601

Vos références pour ce dossier (<i> facultatif</i>)	R9103FR													
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	03 08844													
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)														
Procédé et dispositif d'estimation d'un canal de propagation d'un signal multiporteur.														
LE(S) DEMANDEUR(S) :														
TELEDIFFUSION DE FRANCE 10 rue d'Oradour sur Glane 75732 PARIS CEDEX FRANCE														
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :														
<table border="1"> <tr> <td>1 Nom</td> <td>JAHAN</td> </tr> <tr> <td>Prénoms</td> <td>Bruno</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Adresse</td> <td>Rue</td> </tr> <tr> <td>1, allée de la Rabine</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Code postal et ville</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[3 5 1 9 0] TINTENIAC</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)</td> </tr> </table>		1 Nom	JAHAN	Prénoms	Bruno	Adresse	Rue	1, allée de la Rabine	Code postal et ville		[3 5 1 9 0] TINTENIAC		Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)	
1 Nom	JAHAN													
Prénoms	Bruno													
Adresse	Rue													
	1, allée de la Rabine													
Code postal et ville														
[3 5 1 9 0] TINTENIAC														
Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)														
<table border="1"> <tr> <td>2 Nom</td> <td>LOUIN</td> </tr> <tr> <td>Prénoms</td> <td>Pierrick</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Adresse</td> <td>Rue</td> </tr> <tr> <td>39, square Fernand Labori</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Code postal et ville</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[3 5 7 0 0] RENNES</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)</td> </tr> </table>		2 Nom	LOUIN	Prénoms	Pierrick	Adresse	Rue	39, square Fernand Labori	Code postal et ville		[3 5 7 0 0] RENNES		Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)	
2 Nom	LOUIN													
Prénoms	Pierrick													
Adresse	Rue													
	39, square Fernand Labori													
Code postal et ville														
[3 5 7 0 0] RENNES														
Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)														
<table border="1"> <tr> <td>3 Nom</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Prénoms</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Adresse</td> <td>Rue</td> </tr> <tr> <td>[]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Code postal et ville</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)</td> </tr> </table>		3 Nom		Prénoms		Adresse	Rue	[]	Code postal et ville		Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)			
3 Nom														
Prénoms														
Adresse	Rue													
	[]													
Code postal et ville														
Société d'appartenance (<i> facultatif</i>)														
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivie du nombre de pages.														
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)														
le 18 juillet 2003														
P. VIDON mandataire (CPI 92-1250)														